

P波速度検層による不飽和状態の持続性確認 (その2)

オリエンタル白石(株) 正会員 ○藤井 直 (株)ダイヤコンサルタント 山田直之
 東亜建設工業(株) 正会員 山根信幸 (株)不動産テトラ 正会員 矢部浩史
 四国地方整備局 正会員 小泉勝彦 愛媛大学大学院 正会員 岡村未対

1. はじめに

空気注入不飽和化工法(Air-des 工法)の開発に際し、平成22年に千葉県袖ヶ浦市にて空気注入実験を実施した^{1),2)}。その後、空気注入から約3年後までに実施したP波速度検層の結果から、不飽和状態の持続性を報告した³⁾。本報告は、空気注入から約6年経過し用地の関係でこれ以上の計測が困難となったため、最終のP波速度検層を実施し空気注入による飽和度の長期間の変化について調査し結果を考察したものである。

2. 飽和度とP波速度の関係

地盤に空気を注入すると、水分特性曲線に基づき間隙水は排水される。空気注入停止後は、地下水の復水により飽和度が上昇し、過去の液状化対象となる砂地盤における検討から飽和度85~95%程度の不飽和状態となる⁴⁾。

P波速度 V_p は、地盤の軟硬や岩盤の亀裂の程度、風化・破砕の程度、含水(飽和度)や含ガスの状態を反映する。これまでに、飽和度が2%程度低下するだけで V_p が著しく低下する結果が報告されている⁵⁾。地下水位以下の地盤は飽和層の場合 V_p は1.5km/s程度を示し、空気注入により不飽和化された地盤では V_p は1.0km/s以下を示す。この V_p の大きなコントラストにより、地盤の不飽和化が持続しているかどうかを評価できると考えられる。

3. P波速度検層の意義

Marashini et al.の検討結果を実地盤へ置き換えると、溶存空気の少ない地下水の不飽和化領域への流動により、上流側から下流側に向けて順次飽和度が上昇することになる⁶⁾。P波速度検層による飽和度推定方法は、飽和度で100~98%の間に高い感度を有する⁵⁾。よって、P波速度検層は、地下水流動により不飽和化領域上流側の飽和化進行をモニタリングが可能であり、複数箇所測定することで維持管理手法の一つに適用できると考えられる。

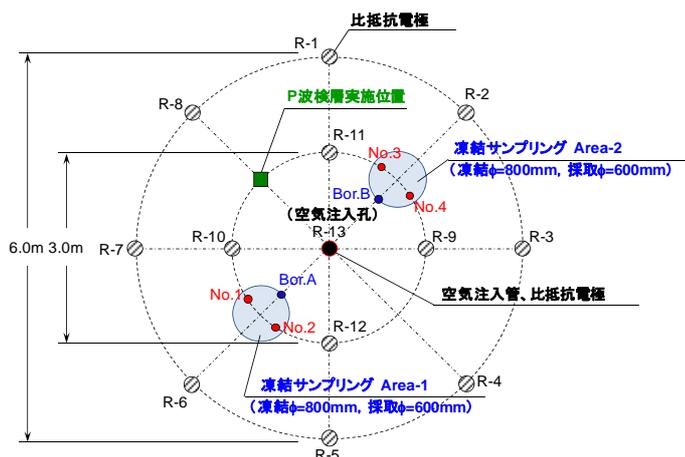


図-1 現場実験平面配置^{1),2)}

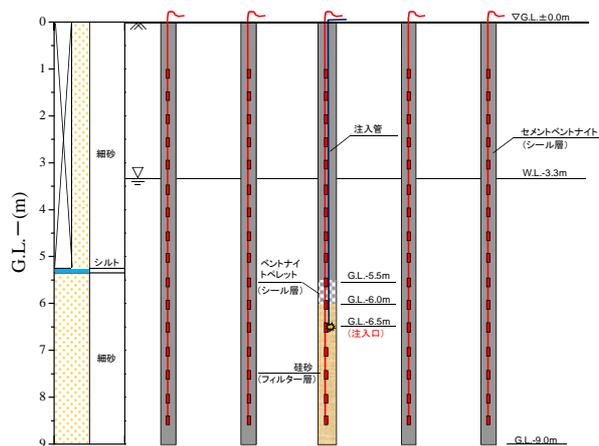


図-2 現場実験断面配置^{1),2)}

4. 実験結果

P波速度検層はダウンホール法によった。測定の対象とする空気注入実験は、千葉県袖ヶ浦市の埋立地で実施した^{1),2)}。P波測定を実施する空気注入実験は、注入孔①,②の2箇所とし、注入孔①は図-1,2に示す配置で実施した。なお、注入孔②もほぼ同様の配置である。注入孔①と注入孔②の実験の違いは、空気注入中の注入圧力である。注入圧力は、注入口の有効上載圧力に対して注入孔①は0.5倍、注入孔②は1.0倍であった。P波速度

検層用の観測孔は図-1に示すように空気注入孔から1.5m離れた位置である。この観測孔は、長期にわたって使用できるように塩ビ管を設置した。なお、注入口深度はG.L.-6.5mである。図-3に測定されたP波速度 V_p を示す。

注入孔①:P波速度検層は空気注入前から注入後約6年後の計7回実施した。空気注入前の計測結果は、G.L.-3m以深が1600m/sであることから飽和状態と考えられる。これは、地下水位と一致している。空気注入後は500m/s程度に低下した。 V_p は計測時期によりバラツキが見られるが、空気注入から約6年経過時の計測でも低い状態であることから、不飽和状態が維持されていると考えられる。

注入孔②:P波速度検層用の観測孔を空気注入後に設置したため、P波速度検層を約6年後までの計3回実施した。図には注入孔①の注入前の V_p を既往データとして示した。注入孔②の近傍で空気注入4ヵ月後に実施した凍結サンプリングによる飽和度 S_r を図-4に示す。凍結サンプリングで求められた飽和度 S_r が約90%に低下したG.L.-3.5~6.5mで V_p は500m/s程度であった。注入後約6年経過した後の計測でも不飽和化が保持されていることが確認できた。 V_p は注入孔①と比較してバラツキが少ないこと、注入口深度よりも下方も低下している傾向が見うけられる。これは、注入孔①の実験と比較して注入圧力が大きかったことから、空気注入中は注入口より下方の間隙水も脱水され不飽和な状態となったことによるものと考えられる。これらの結果から、空気注入による地盤の不飽和化は、注入圧力を大きくすることが有効であると考えられる。

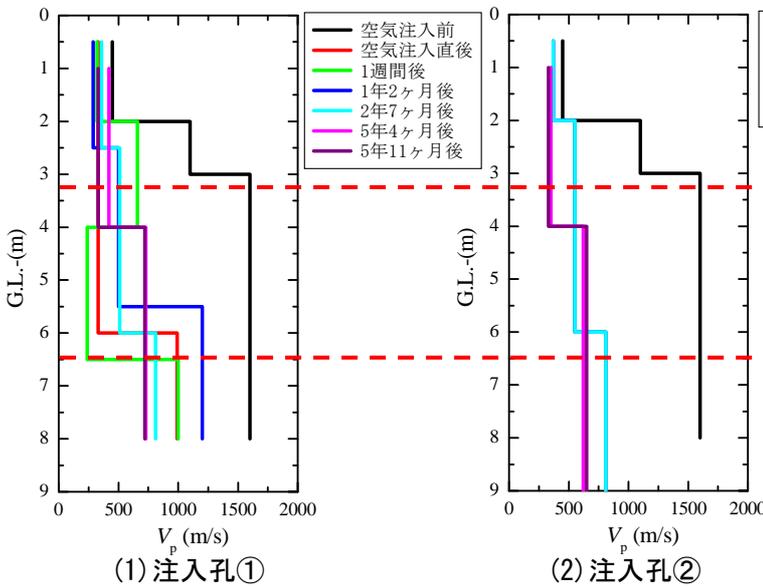


図-3 V_p 深度分布

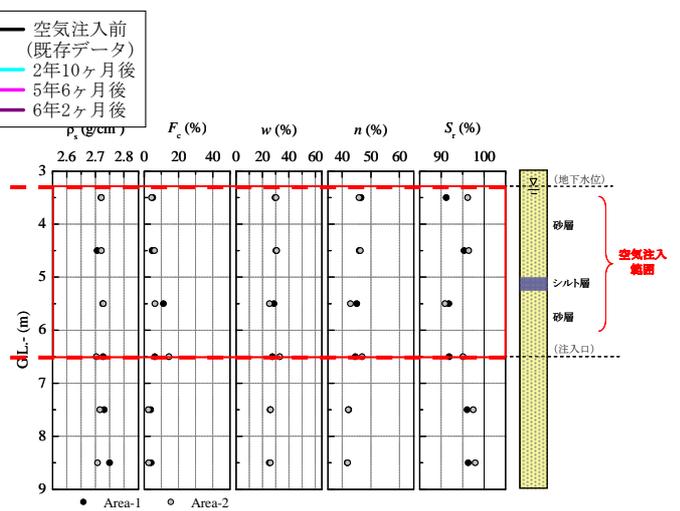


図-4 凍結サンプリング試料の飽和度深度分布

5. おわりに

空気注入不飽和化工法(Air-des 工法)による改良地盤の不飽和状態の持続性確認を目的とした現場実験を通じ、以下の結論を得た。

- 1) P波速度検層によって、空気注入により飽和度が低下していることを把握できた。
- 2) P波速度検層を定期的実施することにより不飽和状態の持続性を確認でき、施工後の維持管理に適用できることがわかった。
- 3) 空気注入圧力を大きくした方が V_p のバラツキが少なく品質の高い不飽和化が出来ることがわかった。

今後も他の実験サイトにてP波速度検層を継続的に実施し、長期間の不飽和状態の持続性を確認するとともに、サンプリングなど他の手法で飽和度を計測しモニタリング精度並びに工法完成度向上を図る予定である。

【参考文献】 1) 太田正規ら: 空気注入不飽和化工法の開発 その6,千葉県袖ヶ浦市での現場実験(実験概要),土木学会第67回年次学術講演会,pp.501-502,2012. 2) 三枝ら: 空気注入不飽和化工法の開発 その7,千葉県袖ヶ浦市での現場実験(品質確認),土木学会第67回年次学術講演会,pp.503-504,2012. 3) 山田ら: P波速度検層による不飽和状態の持続性確認,土木学会第68回年次学術講演会土木学会,pp.163-165,2013. 4) Air-des 工法研究会: 空気注入不飽和化工法(Air-des 工法)付属資料,pp.15-16,2012. 5) 兼間強: 不完全飽和状態の含水砂試料を伝搬する弾性波速度と減水に及ぼす空気飽和度の影響,物理探査,vol.50,pp.229-245,1997. 6) Marasini et al.: Numerical analysis to evaluate the change in degree of saturation considering diffusion and dissolution process on partially saturated soil,土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集,pp.147-148,2015.